

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРЕЗЕРНО-БАРАБАННОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ І МЕХАНІЧНОЇ АЕРАЦІЇ КОМПОСТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Павленко С. І. к.т.н., доцент, Ляшенко О.О. провідний фахівець
(Інститут механізації і електрифікації сільського господарства НААН
України)

Науменко М.М. к.т.н., доцент
(Дніпропетровський державний аграрний університет)

Приведено результати аналітичних досліджень фрезерно-барабанного робочого органу для змішування та механічної аерації компостних матеріалів.

Проблема. Технічні засоби змішування та механічної аерації органічних відходів відносно новітні машини та знаряддя, що використовуються в тваринництві. Теоретичним дослідженням технологічного процесу їх роботи присвячено не так багато наукових праць. Тому накопичене знання, всесторонній аналіз умов, конструкцій і режимів роботи забезпечить ефективність параметрів у різних умовах експлуатації. Особливістю технологічного процесу роботи фрезерно-барабанного робочого органу перед ґрунтообробними ротаційними машинами, де основні операції – зрізання стружки ґрунту та подрібнення, є додаткова операція – формування бурту матеріалу. Якщо, фрезерування ротаційними машинами проводиться в шарі ґрунту до 20 см, то сформовані бурти органічних матеріалів згідно технологічних вимог мають висоту від 1,2 до 4,0 м. Установлення зв'язку між конструкційними і кінематичними параметрами фрезерно-барабанного робочого органу та параметрам одержаних буртів розглядається в цій роботі.

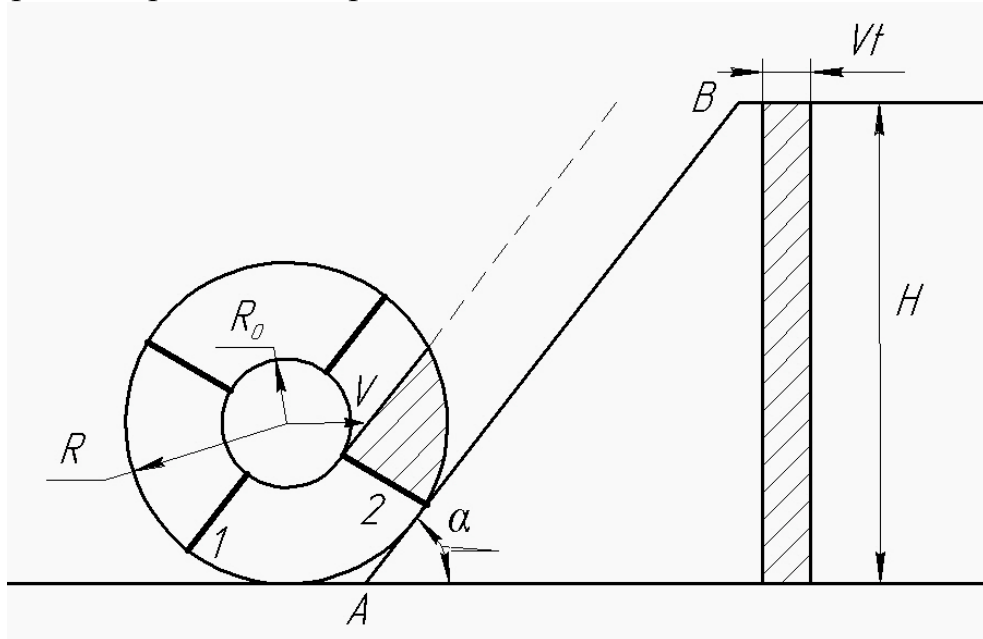
Аналіз останніх досліджень. Теоретичному обґрунтуванню параметрів фрезерно-барабанних робочих органів для змішування та механічної аерації присвячена робота [1]. Її висновки – вагомий внесок в розвиток теорії робочих органів. Одержані залежності допомагають прогнозувати результати при зміні конструктивних та кінематичних параметрів, діаметра та колової швидкості робочих органів, коефіцієнта заповнення. Але недостатньо досліджені залежності зв'язку між конструкційними і кінематичними параметрами робочих органів та параметрами створюваних буртів органічних матеріалів.

Мета. Дослідити функціональні залежності параметрів робочих органів та буртів.

Основна частина. При проектуванні барабанного робочого органу з радіальними лопатями необхідно обґрунтувати рекомендації щодо співвідношення кутової швидкості барабана і швидкості його горизонтального переміщення.

При переміщенні барабана в праву сторону його лопаті будуть руйнувати бурт, перекидаючи компост на лівий бік, при цьому лінія укусу АВ переміщуватиметься вправо, а барабан буде заглиблюватись в навалочний бурт. Очевидно, що міра його заглиблення буде залежати від співвідношення

швидкості переміщення V і кутової – ω . Одна з можливих варіацій усталеної роботи барабана приведена на рис. 1.



R – зовнішній радіус барабана; R_0 – внутрішній; H – висота бурту; α – кут природного укусу.

Рисунок 1 – Можливе положення барабана відносно бурту

Пропускна спроможність може бути визначена як

$$A = k \frac{\pi(D^2 - D_0^2)}{4} zt \quad (1)$$

де z – частота обертання барабана за 1 секунду;

D – зовнішній діаметр барабана

D_0 – внутрішній діаметр барабана

k - коефіцієнт заповнення.

Враховуючи, що $\omega = 2\pi z$ для A можна отримати

$$A = k \frac{\omega(D^2 - D_0^2)}{8} t, \text{ що відповідає передбаченням розробки [1]}$$

Очевидно, що коефіцієнт k може бути визначений наближено з співвідношення

$$k \frac{D^2 - D_0^2}{8} \pi = S, \quad (2)$$

де S – корисна площа перетину бурту, яка захоплена лопаттю барабана – на рис. 1 вона заштрихована.

Враховуючи, що площа подачі компосту на барабан визначається як

$$A_0 = VtH, \quad (3)$$

і прирівнюючи A_0 до A , отримаємо

$$k \frac{\omega(D^2 - D_0^2)}{8} t = VtH.$$

Звідки
$$V = k \frac{\omega(D^2 - D_0^2)}{8H} \quad (4)$$

Таким чином, формула (4) дозволяє визначити швидкість руху барабана за відомою кутовою швидкістю ω . Цілком очевидно, що кутова швидкість обертання повинна бути достатньою для формування бурту. (При малих значеннях ω перелопачуватись буде тільки нижній шар навалочного бурту, при надмірно високих – компост буде недоцільно високо підкидатись вгору). Будемо вважати, що кутова швидкість, яка забезпечує виліт компосту з барабана, повинна мати значення, необхідне для переміщення компосту на висоту H (рис. 2), до точки C , що знаходиться на краю природного схилу сформованого бурту (α - кут природного укосу). Момент вильоту (точка вильоту) очевидно теж буде залежати від висоти H , на яку треба закинути компост і, у зв'язку з цим, положення точки вильоту і початок розвантаження барабана повинні бути обґрунтованими. В розробці [1] приймається, що барабан повністю заглиблюється в борт, а початок розвантаження починається в той момент, коли лопать потрапляє на лінію OD , що нахилена під кутом β до горизонту (рис. 3). Цілком очевидно, що при достатньому значенні кутової швидкості розвантаження може початись і раніше.

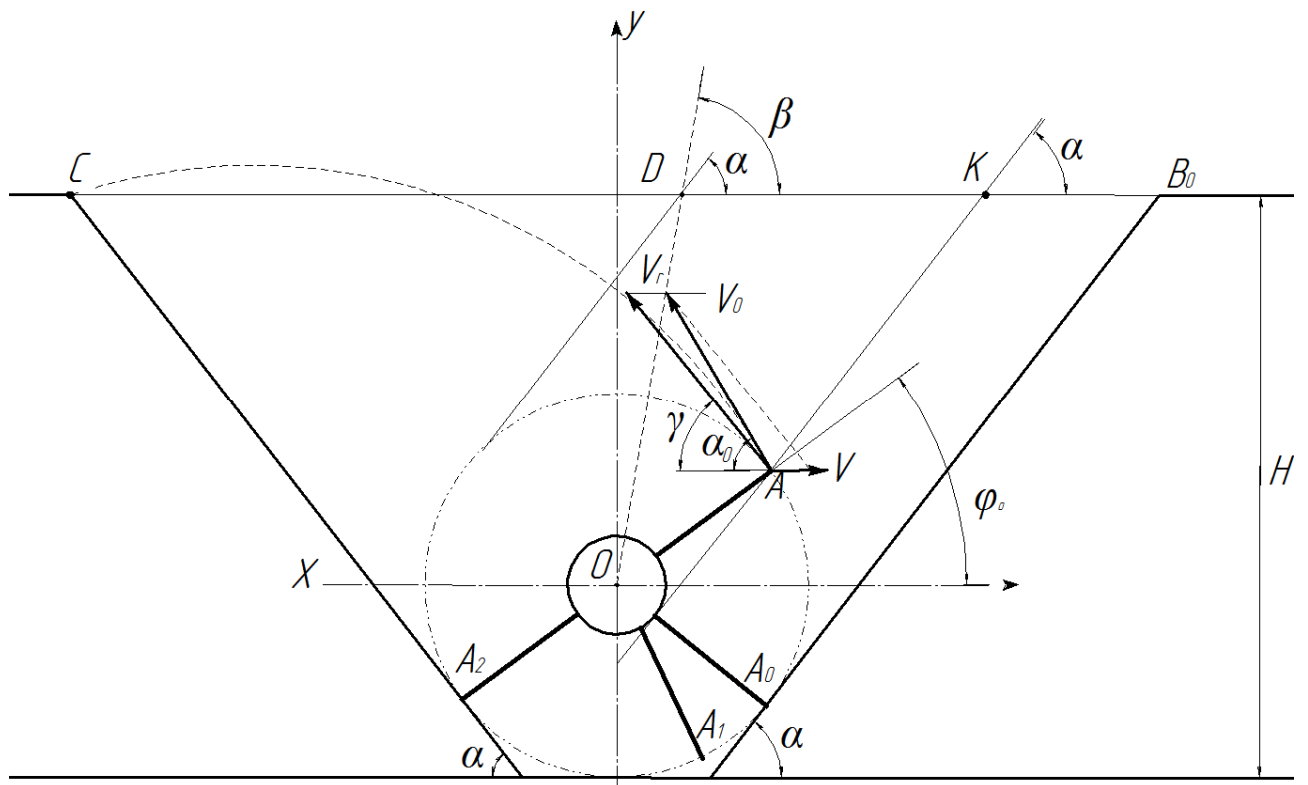


Рисунок 2 – Схема до розвантажування робочого органу

Для уточнення моделі роботи робочого органу приймаються наступні допущення:

- лобові поверхні навалочного і сформованого буртів знаходяться під кутом природного укосу до горизонту - α , причому поверхня сформованого бурта є дотичною до циліндричної поверхні барабана діаметра D ;

- при обертанні барабана масив компосту, що знаходиться в барабані між лопатями 1 і 2 (рис. 1), приводиться в рух лопаттю 2;
- розвантаження секції барабана починається тоді, коли край лопаті, наприклад точка А лопаті 1, потрапляє на лінію укусу АК;
- розвантаження барабана відбувається по чергово з кожного уявного сектора, що визначається кутом $\Delta\varphi$, який утворює лопать ОА, в момент, коли точка А виходить за лінію укусу вліво;
- вважається недоцільним положенням лінії укусу навалочного бурта зліва від осі барабана;
- обрушення навалочного бурту відбувається вздовж площини, нахиленої під кутом природного укусу, і ця площина не являється дотичною до барабана, а перетинає його справа від центра О;
- приймається, що при розвантажуванні сектора маса компосту, що в ньому знаходиться, зміщена до його основи, причому займає таку ж частину його площі, яку складає заштрихована корисна площа (рис. 2) по відношенню до площі, що знаходиться між двома лопатями.

При прийнятих припущеннях кутову швидкість ω визначаємо як необхідну для надання швидкості польоту V_0 частинки компосту, що злітає з крайки лопаті.

Швидкість V_0 будемо розглядати як суму векторів швидкості $V_r = \omega R$ і відносної V .

Модуль початкової швидкості визначається через кутову як

$$V_0 = \sqrt{V_r^2 + V^2 + 2V_r V \cos(90^\circ + \varphi_0)}, \quad (5)$$

де φ_0 - кут, при якому починається розвантажування робочого сектора барабана.

На рис. 2 цим сектором є сектор A_1OA , який завантажено компостом навалочного бурта, зрушенням по лінії укусу A_0B_0 .

При розвантажуванні сектора A_1OA сектор A_2OA_1 , починає завантажуватись після того як точка А, його лопаті 2 прийде до положення точки A_0 . При завантажуванні лінія укусу A_0B_0 порушеної частини масиву компосту переміститься паралельно вправо. Згідно з формулою (4) при обертанні барабана на кут $\varphi = \frac{\pi}{4}$ лінія укусу переміститься на відстань

$b = k \frac{\pi D^2 - D_0^2}{8H}$, звідки для коефіцієнта заповнення барабана можна отримати

$$k = \frac{32bH}{\pi(D^2 - D_0^2)} \quad (6)$$

Вважаючи доцільним заглиблення робочого органу в борт по нормалі до лінії укусу не більше за радіальний розмір лопаті тобто $(R - R_0)$, розглянемо рух частинки компосту, яка вилітає з сектора A_1OA у той момент, як тільки лопать 1 перетне лінію ОА, що визначається кутом вильоту φ_0 .

Швидкість V_0 будемо вважати достатньою, якщо компост, що вилітає з робочого сектора може долетіти до точки С, яка лежить на лінії укусу сформованого бурта тієї ж висоти, що і бурта навалочного. Очевидно, що найбільш вигідною ситуацією буде така, при якій лінія укусу сформованого бурта буде максимально наближеною до барабана.

Для визначення початкової швидкості V_0 розглянемо диференціальні рівняння польоту частинки в системі координат XY , з центром на осі барабана рис 3. Диференціальні рівняння мають вигляд

$$m\ddot{x} = 0, \quad m\ddot{y} = -mg,$$

де \ddot{x} – проекція прискорення на вісь ox ; $\ddot{y} = -g$ - проекція прискорення на вісь y

У результаті інтегрування цих рівнянь можна отримати

$$x = V_0 \cos \alpha_0 t - R \cos \varphi_0 \quad (7)$$

$$y = -\frac{gt^2}{2} + V_0 \sin \alpha_0 t + R \sin \varphi_0 \quad (8)$$

де φ_0 - кут який складає початкова швидкість V_0 з горизонталлю.

З рівняння (5)

$$t = \frac{x + R \cos \varphi_0}{V_0 \cos \alpha_0}$$

Підставляючи цей вираз в рівняння (7) можна отримати рівняння траєкторії польоту

$$y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x + R \cos \varphi_0}{V_0 \cos \alpha_0} \right)^2 + V_0 \sin \alpha_0 \left(\frac{x + R \cos \varphi_0}{V_0 \cos \alpha_0} \right) + R \sin \varphi_0 \quad (9)$$

Із паралелограма швидкостей, наведеного на рис. 2, можна отримати

$$V_0 \cos \alpha_0 = V_z \cos \gamma - V = \omega R \sin \varphi_0 - V;$$

$$V_0 \sin \alpha_0 = V_z \sin \gamma = \omega R \cos \varphi_0$$

тоді замість рівняння (9) перейдемо до

$$y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x + R \cos \varphi_0}{\omega R \sin \varphi_0 - V} \right)^2 + \omega R \cos \varphi_0 \left(\frac{x + R \cos \varphi_0}{\omega R \sin \varphi_0 - V} \right) + R \sin \varphi_0 \quad (10)$$

Або, врахувавши залежність (4),

$$y = -\frac{g}{2} \left[\frac{x + R \cos \varphi_0}{\omega R \sin \varphi_0 - k \frac{\omega(D^2 - D_0^2)}{8H}} \right]^2 + \omega R \cos \varphi_0 \left[\frac{x + R \cos \varphi_0}{\omega R \sin \varphi_0 - k \frac{\omega(D^2 - D_0^2)}{8H}} \right] + R \sin \varphi_0$$

Після очевидних перетворень

$$y = -\frac{g}{2\omega^2} \left[\frac{8H(x + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D_0^2)} \right]^2 + R \cos \varphi_0 \left[\frac{8H(x + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D_0^2)} \right] + R \sin \varphi_0$$

Звідки

$$\omega^2 = \frac{g}{2} \left[\frac{8H(x_c + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D_0^2)} \right]^2 \frac{1}{R \cos \varphi_0 \left[\frac{8H(x_c + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D_0^2)} \right] - y_c + R \sin \varphi_0} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{де } x_c &= H \operatorname{ctg} \alpha + R \sin \alpha - (R - R \cos \alpha) \operatorname{ctg} \alpha \\ y_c &= H - R \end{aligned} \quad (12)$$

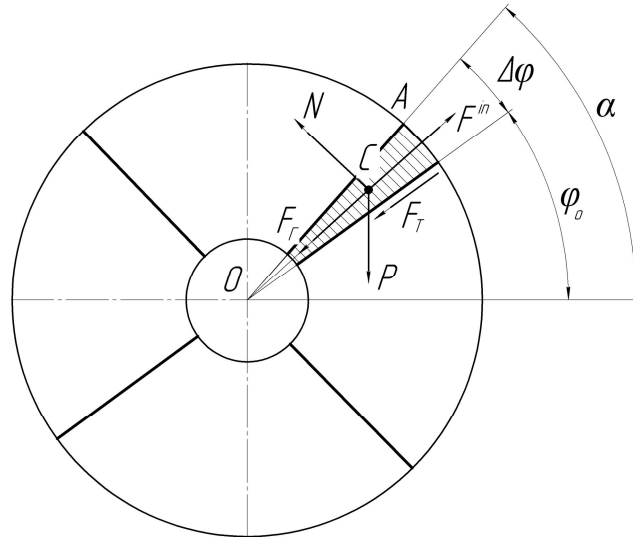


Рисунок 3 – Розрахункова схема сектора готового до «вильоту»

Схема сил що діють на уявний сектор масиву компосту кутовий розмір якого визначається як d_φ наведена на рис 3. Рівняння відносної рівноваги сектора має вигляд

$$F^{in} - F_T - F_r - P \sin \varphi_0 = 0 \quad (13),$$

де F^{in} - сила інерції;

F_T - сила тертя;

F_r - сумарна гідростатична дія навалочного бурта на сектор;

N - нормальна реакція; що прикладається до сектора;

P - вага компосту в секторі.

Очевидно, що рівновага в секторі порушиться, як тільки лопать перейде лінію ОА, в зв'язку з тим, що зникне гідростатична сила F_r .

Якщо m - маса компосту що підлягає вильоту, то

$$P = mg; \quad N = P \cos \varphi = mg \cos \varphi_0; \quad F_T = fmg \cos \varphi_0. \quad (14)$$

Гідростатична сила F_r в першому наближенні визначається як

$$F_r = \frac{D}{2} \Delta \varphi l \left[H - \frac{D}{2} (1 + \sin \varphi_0) \right] \gamma, \quad (15)$$

де γ – питома вага компосту.

Сила інерції визначається як

$$F^{in} = m \omega^2 r_c,$$

де r_c - радіус центра ваги площі сектора готового до вильоту.

Підставляючи формули (14) і (15) в рівняння (13) отримаємо

$$m\omega^2 r_c - fmg \cos \varphi_0 - \frac{D}{2} \Delta \phi l \left[H - \frac{D}{2} (1 + \sin \varphi_0) \right] \gamma - mg \sin \varphi_0 = 0 \quad (16)$$

Враховуючи, що маса компосту в секторі що визначається розміром $\Delta \varphi$

$$m = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) \Delta \phi l \gamma / g$$

з рівняння (16) можна отримати

$$\omega^2 r_c = fg \cos \varphi_0 + \frac{D}{2} \left[H - \frac{D}{2} (1 + \sin \varphi_0) \right] \frac{2g}{(R^2 - r^2)} + g \sin \alpha_0 \quad (17)$$

Сумісний розв'язок рівнянь (17) і (11) дає можливість визначити кут вильоту φ_0 з залежності

$$\begin{aligned} & \frac{g}{2} \left[\frac{8H(x_c + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D_0)} \right]^2 \frac{1}{R \cos \varphi_0 \left[\frac{8H(x_c + R \cos \varphi_0)}{8HR \sin \varphi_0 - k(D^2 - D^2)} \right] y_c + R \sin \varphi_0} = \\ & = \frac{1}{r_c} \left[fg \cos \varphi_0 + \frac{Dg}{R^2 - r^2} \left[H - \frac{D}{2} (1 + \sin \varphi_0) \right] + g \sin \varphi_0 \right], \quad (18) \end{aligned}$$

де радіус центра ваги сектора заповненого компостом при коефіцієнті заповнення $k = 1$ визначається як $r_c = \frac{2}{3} (R - r)$.

На рис. 4, 5 приведені приклади використання отриманих залежностей при проектуванні фрезерно-барабаних робочих органів. Розв'язок рівняння (18) отримано графічно за такими вихідними даними: зовнішній діаметр барабана $D_6 = 0,66$ м; внутрішній $D_0 = 0,33$ м; висота бурта $H = 1,32$ м; кут натурального укусу $\alpha = 45^0$; коефіцієнт тертя $f = 0,5$. На рис. 4 наведено результати розрахунку рівняння (19) де позначено ліву частину рівняння через Z1, а праву через зміну Z2. Як витікає з рис. 4, кут вильоту компосту для прикладу, що розглядається, $\varphi_0 = 0,37$ рад. Необхідна кутова швидкість при максимальному коефіцієнті завантаження $\omega = \sqrt{260} = 16,1$ с⁻¹. Швидкість переміщення барабана за формулою (4): $\frac{16,1(0,66^2 + 0,33^2)}{8 \cdot 1,23} = 0,53$ м/с.

На рис. 5 приведені результати розрахунків залежності швидкості, потужності, кута вильоту та кутової швидкості робочого органу від висоти бурта. Вихідні дані до розрахунків: ширина захвату робочого органу – 2 м, густина перероблюваного матеріалу – 700 кг/м³.

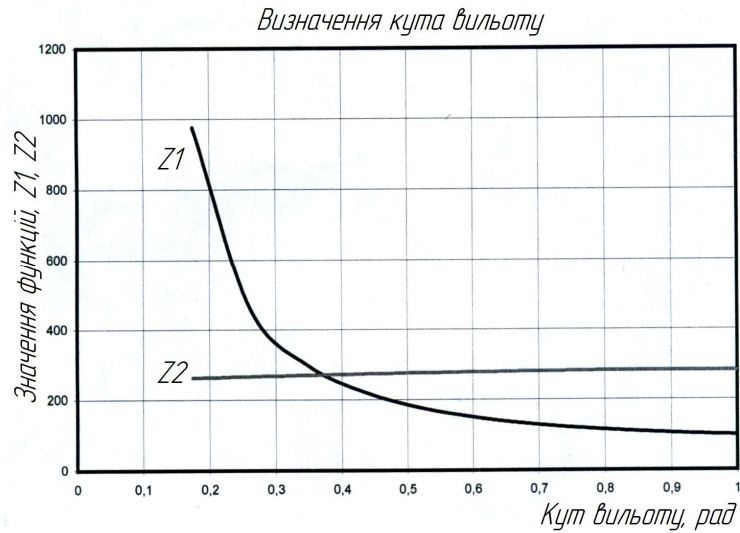


Рисунок 4 – Визначення кута вильоту компосту при розвантажуванні робочого органу

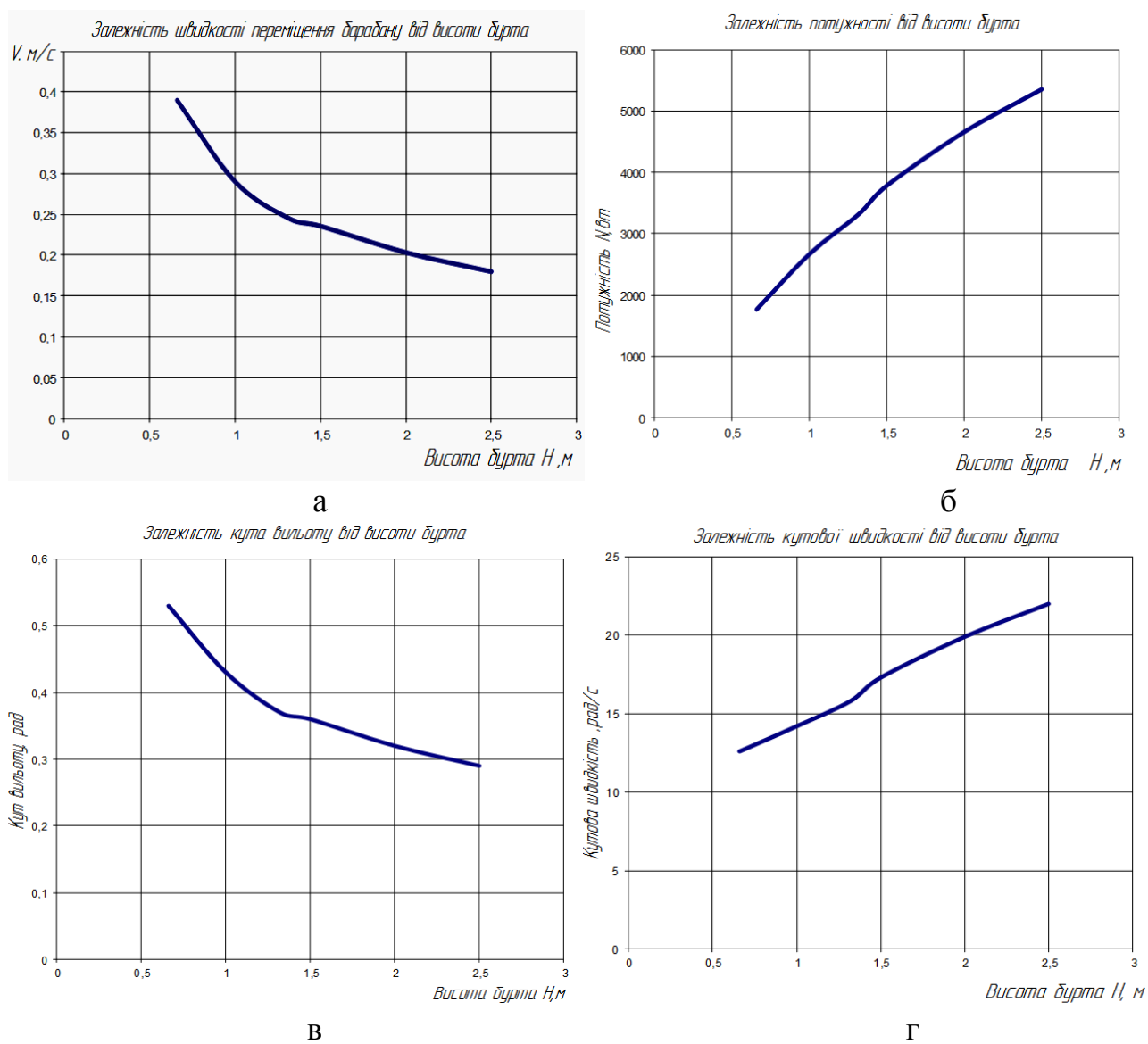


Рисунок 5 – Залежності швидкості (а), потужності (б), кута вильоту (в) та кутової швидкості (г) робочого органу від висоти бурта (ширина захвату робочого органу – 2 м, густина перероблюваного матеріалу – 700 кг/м³).

Висновки. Таким чином, у наведеній роботі розвинена математична модель динаміки розвантажування барабана, яка дозволить визначити кінематичні характеристики, що необхідні для його проектування.

Бібліографічний список

1. Шевченко І.А., Ковязін О.С., Харитонов В.І. Механіко-математична модель процесу розвантаження барабанного органу для змішування компостних матеріалів та механічної аерації. // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. Зб. наук. праць Інституту механізації тваринництва УААН. – Запоріжжя: ІМТ УААН, 2008. – Вип.1. (5,6) 2010. - С. 248-265.

Определение кинематических характеристик фрезерно-барабанного рабочего органа для смешивания и механической аэрации компостных материалов

Павленко С.И. , Ляшенко А.А., Науменко Н.Н.

Приведены результаты аналитических исследований фрезерно-барабанного рабочего органа для смешивания и механической аэрации компостных материалов.

Determination of kinematics descriptions of turning-drum working body for mixing and mechanical aeration of compost materials

S. Pavlenko, A. Lyashenko, N. Naumenko

The results of analytical researches of turning-drum working organ are presented for mixing and mechanical aeration of compost materials